

# OPTICAL WAVE GUIDE ELEMENT, AND MANUFACTURE THEREFOR

## BACKGROUND OF THE INVENTION

### (1) Field of the Invention:

本発明は、電気光学効果を有する基板上に光導波路を形成した光導波路素子及びその製造方法に関し、特に、電気光学効果を有する基板と光ファイバとの接続構造に特徴を有する光導波路素子及びその製造方法に関する。

### (2) Related art statement:

近年の高速、大容量の情報通信に係る需要の高まり対応して、光通信の高密度波長多重（DWDM）化が進展している。このため、光変調器などの光導波路素子を多数組み合わせる利用する必要があり、特に、これら光導波路素子本体や該本体に光ファイバを接続した状態を小型化することにより、装置全体の肥大化を防止し、全体をコンパクトにすることが求められている。

従来の光変調器モジュール（光変調器本体及びこれに付随する部品を金属ケース内に收容し、取り扱い易く構成したもの）は、光変調器を構成する光導波路素子内の光導波路と、これに接続される入出射用の光ファイバが略一直線上にある。このため、光変調器モジュールを装置ボックス内に収納させる場合には、図1のように、光変調器モジュール1のケースの長さLに該ケースから伸びる光ファイバ3の最小曲げ長（図1のR分）を加算した空間長（厳密には、ケースから伸びる光ファイバを保持するための保持部材4、5の長さ $l_1$ 、 $l_2$ も加算した空間長）を必要とする。

このため、光変調器モジュールの収納スペースを削減するためには、図2の

ように光変調器モジュールから延出している入射用光ファイバと出射用光ファイバの角度を任意に設定し、例えば $90^{\circ}$ に曲げ、光ファイバの最小曲げ長(R分)のスペースを削減する必要がある。

なお、図1及び2に示す6は、マイクロ波の信号電圧を入力するための端子や光変調器モジュール1内に收容された受光素子からの検出信号を出力するための端子などを示している。また、光変調器と光ファイバーの接続に係る光損失を低下させるため、図1及び2に示すように $2^{\circ}$ 程度の傾斜を持たせた接続方法が利用されている。

図2に示すように、入出射用の光ファイバを $90^{\circ}$ 曲げるためには、(1)光変調器モジュール1のケース内で光ファイバを $90^{\circ}$ 曲げる方法(特開平7-294781号公報)や、(2)光導波路素子からの入射光又は出射光をプリズムなどの反射部材を用いて光軸を $90^{\circ}$ に曲げる方法(特開2001-242338号公報)などが提案されている。

しかしながら、方法(1)に対しては、ケース内部において $90^{\circ}$ に曲げられた光ファイバを收容するスペースを別途確保することが必要となるため、ケース自体の長さ $L'$ が長くなる。また、方法(2)に対しては、反射部材の收容スペースを確保するため方法(1)と同様にケース自体の長さ $L'$ が長くなる上、光学的な位置調整など製造工程も煩雑化し、製造が難しくなるという欠点を有している。

本発明の目的は、上述した問題を解決し、光導波路素子に対して入出射用の光ファイバを略 $90^{\circ}$ の位置関係となるように接続し、光導波路素子を含む装置全体の小型化を可能とする光導波路素子及びその製造方法を提供することである。

### SUMMARY OF THE INVENTION

上記課題を解決するために、請求項 1 に係る発明では、電気光学効果を有する基板と、該基板上に形成された光導波路とを有する光導波路素子において、該光導波路の端部が位置する基板の側面に形成された反射手段と、該光導波路と離間して該基板に接続された光ファイバとを設け、該反射手段と該光ファイバとの間を伝播する光波は、該光導波路以外の基板内を伝播することを特徴とする。

請求項 1 に係る発明により、光導波路が形成された基板の側面に反射手段を設け、該反射手段からの反射光又は反射手段への入射光は、基板内部を伝播して光ファイバと光学的に結合されているため、従来のように光軸を  $90^\circ$  に曲げるためのプリズムなどの反射部材を必要とせず、しかも、基板に光ファイバを接続するだけの簡単な構成で、光導波路素子の小型化を達成することが可能となる。

また、請求項 2 に係る発明では、請求項 1 に記載の光導波路素子において、該光ファイバは、該反射手段が形成された側面以外の基板の他の側面、若しくは該基板の下面に接続することを特徴とする。

請求項 2 に係る発明により、反射手段からの反射光又は反射手段への入射光は基板内部を伝播するため、基板に対する光ファイバの接続方法として、基板の側面又は下面が利用でき、光導波路素子を含む装置全体の設計に関する自由度が格段に向上する。

また、請求項 3 に係る発明では、請求項 1 又は 2 に記載の光導波路素子において、該光導波路以外の基板内部を伝播する光波の伝播距離は、 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以内であることを特徴とする。

請求項 3 に係る発明により、光導波路以外の基板内部を伝播する光波の伝播距離を  $200\text{ }\mu\text{m}$  以内とすることにより、光導波路と光ファイバとの光学的結合損失を  $3\text{ dB}$  以下に抑えることが可能となると共に、特に  $100\text{ }\mu\text{m}$  以内とすることで同損失を  $1\text{ dB}$  以下とすることも可能となる。

また、請求項 4 に係る発明では、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光導波路素子において、該反射手段の法線方向と該反射手段に接触する光導波路の光軸との形成する角度は、該光導波路を通過する光波が全反射する角度以上であることを特徴とする。

請求項 4 に係る発明により、該反射手段による光波の反射が全反射となるため、光波の光量損失を抑制でき、より効果的な光伝播を達成することが可能となる。

また、請求項 5 に係る発明では、請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の光導波路素子において、該反射手段は、反射膜を有することを特徴とする。

請求項 5 に係る発明により、反射手段に反射膜を設けることで、光波の反射効率を高めることが可能となると共に、反射手段の基板に対する角度設定の自由度が増し、装置設計が行ない易くなる。

また、請求項 6 に係る発明では、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光導波

路素子において、該反射手段が該光導波路側からの光波を透過光と反射光とに分離し、該透過光を該基板外に設けた受光素子に入射させることを特徴とする。

請求項 6 に係る発明により、光導波路から出射する光波を、反射手段により透過光と反射光に分離するため、透過光の光軸上に受光素子を配置するだけで、容易に光変調器などの光導波路素子の出力光をモニタすることが可能となる。

また、請求項 7 に係る発明では、請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の光導波路素子の製造方法において、該光導波路以外の基板内を伝播する光波の光強度を検知しながら、該基板と該光ファイバとの接続位置を決定することを特徴とする。

請求項 7 に係る発明により、基板内を伝播する光波の光強度を検知しながら、基板と光ファイバとの接続位置を決定するため、両部材の光学的結合効率をより高めることが可能となり、光損失の少ない光導波路素子を提供することができ。

しかも、前記反射手段と光ファイバとの間に導波路を設ける場合には、反射手段と該導波路との角度調整が極めて難しく、伝播する光波の損失が劣化する原因ともなる。本発明では、このような導波路を形成しないため、製造が容易であり、光波の損失の劣化も抑制可能となる。

#### BRIEF DISCRIPTION OF THE DRAWINGS

【図 1】従来の光変調器モジュールの構造を示す図

【図 2】本発明の光変調器モジュールの構造を示す図

【図 3】本発明の光導波路素子チップと光ファイバとの接続を示す図

【図4】本発明の光導波路素子チップと光ファイバとの接続を示す斜視図

【図5】本発明の他の実施例である光導波路素子チップと光ファイバとの接続を示す図

【図6】光ファイバの補強部材を用いた場合の光導波路素子チップと光ファイバとの接続を示す図

【図7】LN基板の端部に補強部材を用いた場合の光導波路素子チップと光ファイバとの接続を示す図

【符号の説明】

- 1 光変調器モジュール
- 2, 3, 13 光ファイバ
- 10 光導波路素子チップ
- 11 光導波路
- 12 反射手段
- 16, 17, 18 補強部材

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

以下、本発明を好適例を用いて詳細に説明する。

なお、以下の実施例では、光導波路素子として光変調器を用いたものを例示するが、本発明は、光変調器に限らず、光電界センサシステム用の電界センサ素子などにも適用することが可能である。また、光変調器モジュール内には、光導波路素子のみでなく、半導体レーザーなどの光源や受光素子など各種の光学部品又は電子部品をモジュール化することも可能である。

光導波路素子を構成する基板としては、電気光学効果を有する材料、例えば、ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ; 以下、LNという)、タンタル酸リチウム (L

$\text{LiTaO}_3$ )、PLZT (ジルコン酸チタン酸鉛ランタン)、及び石英系の材料から構成され、特に、光導波路デバイスとして構成しやすく、かつ異方性が大きいという理由から、 $\text{LiNbO}_3$ 結晶、 $\text{LiTaO}_3$ 結晶、又は $\text{LiNbO}_3$ 及び $\text{LiTaO}_3$ からなる固溶体結晶を用いることが好ましい。本実施例では、ニオブ酸リチウム (LN) を用いた例を中心に説明する。

光導波路素子を製造する方法としては、LN基板上にTiを熱拡散させて光導波路を形成し、次いで基板の一部又は全体に渡りバッファ層を設けずに、LN基板上に電極を直接形成する方法や、光導波路中の光の伝搬損失を低減させるために、LN基板上に誘電体 $\text{SiO}_2$ 等のバッファ層を設け、さらにその上にTi・Auの電極パターンの形成及び金メッキ方法などにより数十 $\mu\text{m}$ の高さの変調電極及び接地電極を構成して、間接的に当該電極を形成する方法がある。

一般に、一枚のLNウェハに複数の光導波路素子を作り込み、最後に個々の光導波路素子のチップに切り離すことにより、光導波路素子チップが製造される。

光導波路素子チップは、通常、モジュール化されて利用され、具体的には、光導波路素子チップを金属ケース内に収容すると共に、光導波路素子チップ本体から金属ケースの外部へは、光波の入出力のための光ファイバー及び信号電極等への通電用の導線が、各々導出されている。

図3は、本発明の特徴である光導波路素子チップ10と光ファイバ13との接続関係を示す図である。

チップ10の表面には、光導波路11が形成され、チップ基板の側面には反射手段である反射面12が設けられている。

該反射面の形状としては、反射面を鏡面状に研磨し、光導波路11を伝播す

る光波の反射効率を向上するように構成される。また、反射面表面に金属あるいは誘電体の多層膜などによる反射膜を設けることも可能である。

さらに、光導波路 1 1 と反射面 1 2 とが形成する角度  $\Theta$ （光導波路から反射面に入射する光波についてみると、角度  $\Theta$  は  $90^\circ$  から光波の入射角を引いた値となる）を、光波の入射角が全反射となるように設定することにより、反射面 1 2 の外側に透過する光波を抑制し、光伝播損失を低下させることが可能となる。

なお、後述する光導波路以外の基板内を伝播する光波 1 4 が、反射面 1 2 に入射する場合には、同様に、光波 1 4 の反射面 1 2 に対する入射角を全反射となるように構成することで、同様の効果が期待できる。

また、反射面 1 2 で反射した光波 1 4（光ファイバ 1 3 が入射用の場合は、光波 1 4 は反射面 1 2 に入射する光波となる。以下の説明では、内容の理解を容易にするため、光導波路 1 1 から光ファイバ 1 3 へ光波が出射する場合を中心に説明する。）は、光導波路が形成されていない基板の内部を伝播し、基板の他の側面 1 5 から光ファイバ 1 3 に向けて出射する。

基板側面 1 5 の光導波路 1 1 となす角度  $\eta$  は、光波 1 4 の外部に出射する角度が、光導波路 1 1 に対して略  $90^\circ$  となるように設定される。

次に、基板内部を伝播する光波の伝播距離  $S$  の適正值について説明する。

ビーム径  $w_1$ 、波長  $\lambda$  の光ビームが、屈折率  $n$  の媒体中を距離  $l$  だけ伝播する場合、伝播後のビーム径  $w_2$  は、次式で表される。

$$w_2 = w_1 \times (1 + (\lambda \cdot l / (n \pi w_1^2))^2)^{1/2} \dots (1)$$

また、本発明のように反射手段を介する光波の結合状態は、光波の伝播モード径が異なる 2 つの導波路  $w_3$ 、 $w_4$  の結合と考えられ、この際の結合効率  $A$  は、光軸のズレ、角度のズレが無い理想状態と仮定すると、次式で表される。



$$A = 4 / (w_3 / w_4 + w_4 / w_3)^2 \dots (2)$$

電気光学効果を有する基板として、LN基板を利用した場合を想定すると、 $n = 2.15$ 、 $w_1 = 9 \mu\text{m}$  (WGのモード系)、 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ を式(1)、(2)に代入し、 $l = 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3$ の場合の $w_2$ 及び光ファイバとの結合効率 $A$ を求める。ただし、光ファイバのモード径は $10 \mu\text{m}$ とする。

各条件における算出結果を表1に示す。

表1

本発明に係る光ビームの結合効率

l (mm)	$w_2 (\mu\text{m})$	結合効率A	結合損失 (dB)
0.05	10.34	0.998	-0.0087
0.1	13.60	0.911	-0.4
0.15	17.75	0.732	-1.35
0.2	22.23	0.558	-2.53
0.25	27.04	0.423	-3.73
0.3	31.89	0.326	-4.86

表1の結果により、光波の伝播距離 $S$ が $0.2 \text{ mm}$ 以下の場合には、結合損失を $3 \text{ dB}$ 以下に抑制でき、より好ましくは、 $0.1 \text{ mm}$ 以下とすることにより、結合損失を $1 \text{ dB}$ 以下に抑制することが可能となる。また、結合損失が $1 \text{ dB}$ となる伝播距離 $S$ は、約 $135 \mu\text{m}$ である。

本発明の特徴は、光波が基板内を約 $100 \mu\text{m}$ 程度伝播した場合でも、光ビーム径の広がりがある程度抑制されていることに着目した点にある。通常、空気中における光ビームの伝播では、 $0.1 \text{ mm}$ の伝播距離に対し、上記と同様の条件では、 $w_2$ は $23.7 \mu\text{m}$ となり、結合損失は $-2.92 \text{ dB}$ にもなる。同様に、伝播距離が $0.2 \text{ mm}$ の場合は、 $w_2$ は $44.77 \mu\text{m}$ となり、結合損

失は $-7.45\text{ dB}$ にもなる。

したがって、従来のように、光波を光導波路から空気中に一度出射させ、その光をプリズムなどを介して、光ファイバに入射させる構成では、光導波路から光ファイバまでの伝播距離を $0.1\text{ mm}$ 未満とする必要がある。このような構成は、實際上困難であり、別途レンズ等の結像部材を必要とする。

これに対して、本発明のように基板内を光波に伝播させる場合は、図3のように基板側面15に光ファイバを直接接続することが可能であり、伝播距離Sを $200\text{ }\mu\text{m}$ 以内に構成することも、基板側面12及び15のカッティング位置を調整することにより、容易に確保することが可能である。

本発明では、導波路11と光ファイバ13は $90^\circ$ となるため、 $\Theta$ が決まれば自動的に $\eta$ が求まる。

光が14で全反射しかつ導波路11と光ファイバ13が $90^\circ$ となる $\Theta$ 、 $\eta$ は何通りもあり、例えば $\Theta=41^\circ$ としたときは $\eta=23.78^\circ$ となる。

この時のアライメント時のLN基板と光ファイバの距離（LN基板と光ファイバとの間の空間距離）は $27.54\text{ }\mu\text{m}$ となる。この距離を短くするには $\eta$ を小さくすればよく、 $\eta=7.04^\circ$ の時、LN基板と光ファイバの距離は $7.7\text{ }\mu\text{m}$ となる（この時の $\Theta$ は $43.85^\circ$ となる）。

LN基板と光ファイバの距離は短いほど変調器の損失を減らすことができるが、 $\eta$ を小さくするほど加工も難しくなるため、 $\Theta$ と $\eta$ 値は変調器の損失と歩留まりとのかねあいから決定される。

図4は、本発明に係る光導波路素子の斜視図であり、各符号は図3と同様の内容を意味する。

通常LN基板とファイバの接着時は接着強度を増すために補強部材が用いられる。補強部材としては、図4に示すようなLN基板上に設ける補強部材16や、図6に示すようなファイバを保持する補強部材17がある。

また、図6に示すように、LN基板とファイバとの接着を、補強部材16、17のみで行う場合には、補強部材17がLN基板10からはみ出し、十分な効果が得られない場合がある。

このような場合は、図7に示すように他の補強部材18をLN基板10に接続した後、補強部材17を用いたLN基板とファイバとの接着を行えばよい。

図7に示すLN基板、補強部材17、18の各部材の屈折率を、 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ とし、各部材の熱膨張率を、同様に $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ とした場合、補強部材18に関しては、 $n_3$ が条件 $n_1 \sin(\pi/2 - \theta) \geq n_3$ を満たす屈折率を有し、 $\alpha_3$ が条件 $\alpha_1 \approx \alpha_3$ を満たす熱膨張率を有している部材が望ましい。

補強部材17に関しては、 $n_2$ については特に限定する必要はないが、 $\alpha_2$ は光ファイバの熱膨張率と同等程度あることが望ましい。

また、光ファイバ13の先端の形状については、図3に示すように光軸に垂直の面とするだけでなく、曲面又は傾斜面とすることにより、基板側面15との接続角度に応じて適したものを選択することができる。

他の実施例としては、図5に示すように、反射手段12の位置関係を、光波がチップ面の下方に進むように構成することも可能である。このことにより、チップ及び光ファイバの位置関係を多様に設定することができ、装置設計の自由度が向上する。

本発明の応用として、反射手段により光波を透過光と反射光に分離して、該透過光を、別途設けられた受光素子に入射させ、光波の光量をモニタするように構成することも可能である。

また、チップ10と光ファイバ13との接続に際しては、チップ側又は接続する光ファイバ側のいずれかより光ビームを入射し、他端において該光ビーム

の出射光量をモニタすることにより、受光量が最大となる最適位置において両者を接続することが好ましい。該接続に際しては、紫外線硬化型接着剤などの光透過性の高い接着剤を用いることができる。

なお、本発明は上記説明に限らず、光導波路素子に関し当該技術分野において周知の技術を付加することも可能であることは、言うまでもない。

以上、説明したように、本発明の光導波路素子及びその製造方法により、光導波路素子に対して入出射用の光ファイバを略90°の位置関係となるように接続し、光導波路素子を含む装置全体を小型化することが可能となる。

## CLAIMS

1. 電気光学効果を有する基板と、該基板上に形成された光導波路とを有する光導波路素子において、

該光導波路の端部が位置する基板の側面に形成された反射手段と、該光導波路と離間して該基板に接続された光ファイバとを設け、該反射手段と該光ファイバとの間を伝播する光波は、該光導波路以外の基板内を伝播することを特徴とする光導波路素子。

2. 請求項 1 に記載の光導波路素子において、該光ファイバは、該反射手段が形成された側面以外の基板の他の側面、若しくは該基板の下面に接続することを特徴とする光導波路素子。

3. 請求項 1 又は 2 に記載の光導波路素子において、該光導波路以外の基板内部を伝播する光波の伝播距離は、 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以内であることを特徴とする光導波路素子。

4. 請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光導波路素子において、該反射手段の法線方向と該反射手段に接触する光導波路の光軸との形成する角度は、該光導波路を通過する光波が全反射する角度以上であることを特徴とする光導波路素子。

5. 請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の光導波路素子において、該反射手段は、反射膜を有することを特徴とする光導波路素子。

6. 請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光導波路素子において、該反射手段が該光導波路側からの光波を透過光と反射光とに分離し、該透過光を該基板外に

設けた受光素子に入射させることを特徴とする光導波路素子。

7. 請求項1乃至6のいずれかに記載の光導波路素子の製造方法において、該光導波路以外の基板内を伝播する光波の光強度を検知しながら、該基板と該光ファイバとの接続位置を決定することを特徴とする光導波路素子の製造方法。

## OPTICAL WAVE GUIDE ELEMENT, AND MANUFACTURE THEREFOR

### ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

本発明は、光導波路素子に対して入出射用の光ファイバを略  $90^\circ$  の位置関係となるように接続し、光導波路素子を含む装置全体の小型化を可能とする光導波路素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

本発明は、電気光学効果を有する基板 10 と、該基板上に形成された光導波路 11 とを有する光導波路素子において、該光導波路の端部が位置する基板の側面に形成された反射手段 12 と、該光導波路と離間して該基板に接続された光ファイバ 13 とを設け、該反射手段と該光ファイバとの間を伝播する光波 14 は、該光導波路以外の基板内を伝播することを特徴とする。

(代表図：図 3)